مجله به‌زراعی نهال و بذر
جلد ۲-۳۵، شماره ۲، سال ۱۳۹۸

پاسخ عملکرد و کیفیت روغن دانه ژنوتیپ‌های کنجد بومی ایران به تنش خشکی

Response of Seed Yield and Oil Quality of Iranian Native Sesame Genotypes to Drought Stress

محمد عباسعلی[۱]، عبدالقیوم قلی‌پوری[۲]، احمد توبه[۲]، نیراعظم خوش خلق سیما[۳] و بهجت تاج‌الدین[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران و مربی، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشیار، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۴- دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۴/۱۶

چکیده

عباسعلی، م.، قلی پوری، ع.، توبه، ا.، خوش خلق سیما، ن. ا. و تاج‌الدین، ب. ۱۳۹۸. پاسخ عملکرد و کیفیت روغن دانه ژنوتیپ‌های کنجد بومی ایران به تنش خشکی. **مجله به‌زراعی نهال و بذر ۲-۳۵:** ۱۵۷-۱۳۳.

تنش خشکی از عوامل محیطی مهمی است که بر عملکرد و کیفیت محصول کنجد تاثیر می‌گذارد. در این راستا هشت ژنوتیپ کنجد به همراه ارقام اولتان و داراب۱ در شرایط عادی و تنش خشکی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج، از نظر عملکرد دانه و ویژگی‌های بیوشیمیایی روغن ارزیابی شدند. خشکی باعث کاهش ۴۵/۱ درصد عملکرد دانه، ۲/۵ درصد روغن دانه، و ۲۴ درصد اسید چرب پالمیتولئیک، و افزایش ۹۹/۴ درصد قدرت آنتی اکسیدانی روغن، ۱۸/۹ درصد لیگنان‌های روغن و ۱۵/۶ درصد پروتئین خام دانه شد. در واقع خشکی باعث بهبود کیفیت روغن گردید. ژنوتیپ KC50662 در هر دو شرایط، عملکرد مناسبی داشت و همچنین ۵/۳ درصد روغن آن بیش از شاهد اولتان بود و کمترین میزان اسید چرب مضر پالمیتیک (۸/۵ درصد) بعد از رقم اولتان (۸/۲ درصد) و ژنوتیپ KC50687 را داشت. همچنین مقادیر بیشتر اسیدهای چرب مفید اولئیک (۴۷/۱ درصد) و پالمیتولئیک (۰/۰۹۴ درصد) نسبت به شاهد (به ترتیب ۴۳/۱ و ۰/۰۷۲ درصد) داشت. این ژنوتیپ دارای میزان پائین‌تر اسید چرب اشباع استئاریک (۷ /۴ درصد)، میزان بالاتر اسید چرب مفید لینولئیک (۴۲ درصد) نسبت به شاهد (به ترتیب ۵/۴ و ۳۸/۷ درصد) و مقدار بالاتر کل لیگنان‌های روغن (۴۲۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) و قدرت آنتی‌اکسیدانی ۲۳/۵ میکرومول در لیتر پایین‌تر نسبت به شاهد (به ترتیب ۳۵۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و ۳۳/۹ میکرومول در لیتر) بود. شاخص‌های تحمل و حساسیت ژنوتیپ KC50662 را با پتانسیل عملکرد بالا و ژنوتیپ‌های KC50658، KC50687 و KC50983 را به عنوان متحمل شناسایی کردند. ژنوتیپ KC50662 با توجه به عملکرد بالا در دو شرایط عادی و تنش و خصوصیات مطلوب کیفیت روغن به عنوان ژنوتیپ برتر شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: کنجد، تنش غیر زنده، تحمل، عملکرد دانه، اسید چرب اشباع.

نگارنده مسئول: moabbasali@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۲۷۰۱۲۶۰

مقدمه

کنجد (*Sesamum indicum* L.) از خانواده پدالیاسه (*Pedaliaceae*)، گیاهی روغنی و منحصر به فرد خاص مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است. در نقاط متفاوت دنیا و ادوار تاریخی مختلف به عنوان دانه روغنی، دارو و دیگر موارد مثلاً برای تولید روشنایی استفاده شده است (Hwang, 2005).

سطح زیر کشت کنجد در جهان، در سال ۲۰۱۷ حدود ۹/۹۸ میلیون هکتار با تولید حدود ۵/۵۳ میلیون تن دانه و میانگین عملکرد حدود ۵۵۴/۱ کیلوگرم در هکتار بود. در این سال ایران با سطح زیر کشت ۴۲۰۰۰ هکتار و تولید ۲۹ هزار تن و عملکرد ۶۹۰/۵ کیلوگرم در هکتار ، دارای رتبه بیست و ششم تولید بود (FAO, 2019).

کنجد از نظر تغذیه و خواص سلامتی مورد توجه است، دانه آن شامل بسیاری از مواد مغذی، پروتئین‌ها (حدود ٪۲۵)، روغن (حدود ٪۵۰) و کربوهیدرات‌ها، منبع غنی کلسیم (حدود ٪۱) و فسفر (حدود ٪۰/۷) است (Nagendra Prasad *et al*., 2017). به علت حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در روغن کنجد با نام لیگنان‌ها و توکوفرول و با وجود بیش از ۸۰ درصد از کل اسیدهای چرب غیر اشباع (اسیدهای اولئیک- لینولئیک) در مقایسه با سایر روغن‌های خوراکی گیاهی بسیار مقاوم به اضمحلال اکسیداتیو است (Suja *et al*., 2004). دو اسید چرب مذکور به همراه ۱۲ -۷/۹ درصد اسید پالمیتیک و ۶/۱ -۴/۸ درصد اسید استاریک مجموعاً ٪۹۶ از کل اسیدهای چرب آن را تشکیل می دهند. با استفاده از تغییرات ژنتیکی، ارقام با اسید اولئیک بالا توصیه شده‌اند. پروتئین دانه با طیف ۳۱- ٪۱۷ غنی از اسید آمینه‌های گوگرددار، متیونین و سیستین (٪۶/۱) و مقدار کافی از تریپتوفان است که در اکثر دانه‌های روغنی محدود است (Hwang, 2005).

خواص ضد سرطان، جلوگیری از دیابت، کنترل و کاهش فشار خون و کاهش کلسترول از آثار مفید آن برای سلامتی است (Nagendra Prasad *et al*., 2017). دانه و روغن آن از نظر تامین اسیدهای چرب ضروری امگا ۳ (اسید لینولنیک) و امگا ۶ (اسید لینولئیک و اسید آراشیدونیک) و سایر اسیدهای چرب مانند اولئیک اهمیت دارد (Hwang, 2005). اسید چرب پالمیتولئیک یا امگا- ۷ در دانه آن از تری‌گلیسریدهای با زنجیره متوسط می‌باشد که در بدن به صورت چربی ذخیره نشده و به صورت انرژی در می‌آید. امگا- ۷ با افزایش حساسیت سلول‌ها به انسولین در پیشگیری و درمان چاقی مفید است و در برابر دیابت نوع دو، بیماری‌های قلبی و سرطان نقش حفاظت‌کنندگی دارد (Suja *et al*., 2004).

کنجد طیف وسیعی از رفتارها را در واکنش به خشکی دارد. با اعمال تنش خشکی در آزمایش‌های متفاوت، شمار دانه در کپسول (حتی پس از گلدهی)، وزن دانه در کپسول،

تعداد کپسول در بوته، زیست‌توده، عملکرد دانه، ارتفاع و سطح فتوسنتز کننده کاهش نشان دادند. در بررسی تحمل به تنش خشکی رقم "داراب ۱۴ " بر پایه شاخص تحمل و حساسیت، جایگاه برتری را در شرایط عادی و تنش رطوبتی از خود نشان داد (Amani *et al*., 2012). همچنین ارقام داراب ۱۴ و محلی سیستان با داشتن و عملکرد بالاتر و پایداری عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش رطوبتی و بالاترین مقدار شاخص‌هایSTI، GMP و MP به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل تعیین شدند (Poor-Esmaeil *et al*., 2014).

در ارزیابی ۲۷ ژنوتیپ کنجد در شرایط عادی و تنش رطوبتی، بر اساس شاخص حساسیت فیشر و مائورر و تحمل فرناندز، رقم‌های ناز تک شاخه، ناز چند شاخه، اولتان و ورامین ۲۳۷، با حساسیت متوسط و ژنوتیپ زودرس IS حساس و ژنوتیپ ۲۸۲۲ با تحمل متوسط و ارقام کرج ۱، ناز تک شاخه و ورامین ۲۳۷ با تحمل بالا و مناسب برای شرایط تنش خشکی تشخیص داده شدند (Hassanzadeh *et al*., 2009). در ارزیابی دیگر، رقم اولتان با بیشترین مقدار STI، و کمترین مقدار SSI و TOL نسبت به دو رقم هندی و هندی ۱۴ متحمل‌تر شناسایی شد (Molaie *et al*., 2012).

در بررسی هفت رقم کنجد ایرانی، میزان سزامول دارای دامنه ۷۵/۲-۱۳/۶ میلی‌گرم بر گرم بود (Sadeghi *et al*., 2010). خواص آنتی‌اکسیدانی رقم‌های داراب و ناز تک شاخه با قدرت ممانعت‌کنندگی (The half maximal inhibitory concentration = IC50) برابر با ۱/۸ میلی‌گرم در لیتر تقریباً یکسان بودند ولی رقم اولتان خواص آنتی‌اکسیدانی پایین (میلی‌گرم در لیتر IC50=3.7) را نشان داد (Hassanzadeh *et al*., 2014). تنش خشکی با کاهش عملکرد دانه و بدون تاثیر بر وزن دانه باعث کاهش سزامین و سزامولین شد. برعکس لیگنان‌های گلوکوزیدی در پاسخ به تنش خشکی افزایش یافتند. محتوی روغن با کاهش ملایم در اثر خشکی تغییر معنی‌داری نیافت، ولی خشکی باعث کاهش درصد اسید اولئیک و افزایش اسید لینولئیک گردید. ضمناً ترکیبات بیوشیمیایی دانه کنجد به ویژه گلیکوزید سزامینول که دارای خاصیت قوی آنتی‌اکسیدانی است تحت تاثیر تنش خشکی افزایش یافت (Kim *et al*., 2006).

به دلیل اهمیت اثر تنش خشکی بر روی کیفیت محصولات، در پاسخ به این پرسش که آیا در شرایط تنش خشکی تغییری در کیفیت دانه ارقام کنجد روی می‌دهد و همچنین واکنش ارقام متحمل و حساس به تنش خشکی از نظر کیفیت دانه به چه صورتی خواهد بود؟ میزان روغن و پروتئین دانه، پروفایل اسیدهای چرب، میزان لیگنان‌ها و قدرت آنتی اکسیدانی روغن تعدادی از ژنوتیپ‌های کلکسیون کنجد بانک ژن گیاهی ملی ایران در شرایط تنش خشکی در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

هشت ژنوتیپ کنجد دریافتی از کلکسیون بانک ژن گیاهی ملی ایران به همراه ارقام تجاری اولتان و داراب۱ در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴، مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات مربوط به ژنوتیپ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. محل اجرای آزمایش مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و دارای ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متر از سطح دریای آزاد بود. ژنوتیپ‌ها در دو شرایط متفاوت رژیم رطوبتی خاک در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال در اواسط خرداد کشت شدند.

جدول ۱- نام و منشاء ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی
Table 1. Accession number and origin of sesame genotypes

نام/ شماره نمونه Accession No./ Name	Origin	منشا	نام/ شماره نمونه Accession No./ Name		Origin	منشا
50321	Palestaine	فلسطین	50687		Fars	فارس
50436	Boushehr	بوشهر	50983		Zanjan-Tarom	طارم زنجان
50638	Fars	فارس	50999		West Azabayjan	آذربایجان غربی
50658	Fars	فارس	Darab1 cultivar	داراب۱	Fars	فارس
50662	Fars	فارس	Oltan cultivar	اولتان	Moghan	مغان

هر کرت آزمایشی شامل پنج خط به طول ۲/۵ متر با فواصل بین خطوط ۶۲/۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته روی ردیف حدود ۱۰سانتی‌متر بود. سه خط میانی با حذف ۰/۲۵ متر از دو انتهای خطوط کشت برای ارزیابی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کود فسفر به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر با توجه به خلوص کود مورد نظر از منبع سوپرفسفات و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره به خاک داده شد. وجین دستی در سه نوبت انجام شد.

برای هر یک از رژیم‌های رطوبتی آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در نظر گرفته شد. در رژیم رطوبتی اول، آبیاری معمول در طول کل دوره رشد گیاهان انجام شد. در رژیم رطوبتی دوم همانند رژیم رطوبتی اول تا آستانه گلدهی (در حدود ۵۰ الی ۵۵ روز پس از کاشت) آبیاری معمول صورت گرفت ولی پس از آن، قطع آبیاری تا برداشت صورت پذیرفت. برای ایجاد شرایط بدون تنش در آبیاری کامل، دور آبیاری براساس میزان ۷۰ تا ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس Aتنظیم شد. در هر آبیاری مقدار آب براساس رسانیدن رطوبت خاک در محدوده توسعه رشد فعال ریشه، عمق ۳۵ سانتی‌متر، تا حد ظرفیت زراعی محاسبه و با روش آبیاری قطره‌ای اعمال

گردید. با توجه به مشخص بودن تعداد و دبی قطره چکان‌ها در کرت‌های آزمایشی، این مقدار نیاز آبی با تنظیم ساعت آبیاری که در هر نوبت به طور متوسط شش ساعت بود، تامین شد. توضیح اینکه رطوبت خاک در هر نوبت آبیاری، در دو مرحله یکی قبل از آبیاری برای تعیین مقدار آب مورد نیاز و دیگری ۴۸ ساعت پس آبیاری برای کنترل و اطمینان از تامین رطوبت کافی در محدوده ریشه، با روش وزنی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

در تیمار آبیاری معمول در طول کل دوره رشد ۱۳ نوبت و در تیمار قطع آبیاری هفت نوبت آبیاری انجام شد و میانگین عمق آب مصرفی در هر نوبت آبیاری ۳۶ میلی‌متر بود. مقدار کل آب مصرفی در شرایط عادی حدوداً ۴۷۰۰ و در شرایط تنش ۲۵۰۰ متر مکعب در هکتار بود. شروع زمان برداشت در شرایط عادی از ۳۰ مهر و در شرایط تنش از هفتم مهر و بر حسب ژنوتیپ‌ها متفاوت بود. شاخص‌های تحمل (Tolerance Index = TOL)، عملکرد متوسط (Mean Productivity = MP) (Rosielle and Hamblin, 1981)، میانگین هندسی عملکرد (Geometric Mean Productivity = GMP) (Schneider *et al*., 1997)، حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Index = SSI) (Fischer and Maurer, 1978)، تحمل تنش (Stress Tolerance Index = STI) و میانگین هارمونیک (Harmonic Mean = HM) (Fernandez, 1992) به عنوان شاخص‌های تحمل و حساسیت مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمایشات بیوشیمیایی کیفیت دانه روی پنج ژنوتیپ انجام شد. با توجه به رفتار ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش بر مبنای میانگین داده‌های دو سال چهار ژنوتیپ به همراه رقم اولتان برای انجام آزمایش‌های در نظر گرفته شدند. بر این اساس ژنوتیپ‌های شماره KC50321 و KC50999 به عنوان ژنوتیپ‌های حساس، ژنوتیپ شماره KC50662 با پتانسیل عملکرد بالا در دو شرایط عادی و تنش خشکی به عنوان ژنوتیپ پرپتانسیل، ژنوتیپ شماره KC50687 به عنوان ژنوتیپ غیرحساس (در واقع متحمل با پتانسیل تولید کم) و رقم اولتان به عنوان شاهد برای آزمایشات کیفیت دانه منظور شدند.

اندازه‌گیری‌های بیوشیمیایی برای پنج ژنوتیپ انتخابی و تکرارهای مربوطه و برای دو رژیم رطوبتی طی دو سال صورت گرفت. ارزیابی صفات بیوشیمیای دانه شامل اندازه‌گیری‌های روغن به روش NMR (Nuclear Magnetic Resonance)، (ISO 5511,1992)، پروفایل اسیدهای چرب با روش کروماتوگرافی (Varian, CP-3800) گازی موئینه (Capillary Gas Chromatography) (ISO 12966-2, 2011) و روش آماده‌سازی نمونه براساس تهیه متیل استر اسیدهای چرب با

استفاده از محلول هیدرواکسید پتاسیم متانولی بود. درصد پروتئین دانه با تعیین درصد نیتروژن دانه به روش کجلدال برآورد شد. لیگنان‌های کل روغن با استفاده از روش پیشنهادی باتانگار و همکاران (Bhatnagar *et al*., 2015) بر اساس جذب اشعه ماورای بنفش (Ultra violet) و انقراض ویژه نوری (Specific extinction) مربوط به سزامین و سزامول به روش اسپکتروفتومتری، اندازه‌گیری شد.

سنجش قدرت آنتی اکسیدانی با روش احیاء (کاهش) فریک (Fe^{+++}) به فرو (Fe^{++})، با معرف FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power assay)، شرح داده شده توسط بنزی و استرین (Benzie and Strain, 1999) صورت پذیرفت. این روش بر اساس احیاء کمپلکس [Ferric tripyridyl-triazine (TPTZ)] به شکل‌های متفاوت رنگی یون‌های آهن در حضور آنتی اکسیدان می‌باشد. معرف FRAP حاوی پنج میلی‌لیتر از محلول ۱۰ میلی‌مول بر لیتر TPTZ در سید کلریدریک ۴۰ میلی‌مول در لیتر، به اضافه پنج میلی‌لیتر از محلول ۲۰ میلی‌مول بر لیتر $FeCl_3$ و ۵۰ میلی‌لیتر بافر استات با pH برابر ۳/۶ که تازه تهیه شد و در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرم شده بود.

پنجاه میلی‌لیتر از نمونه با سه میلی‌لیتر از معرف FRAP مخلوط شد و پس از ماندگاری به مدت ده دقیقه در دمای ۳۷ درجه سلسیوس در انکوباتور، جذب آن در ۵۹۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر (Cintra 40) اندازه‌گیری شد. برای ایجاد منحنی کالیبراسیون، پنج غلظت از $FeSO_4.7H_2O$ (۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۷۵۰ و ۱۰۰۰ میلی‌مول بر لیتر)، استفاده شد. پس از تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد. آزمون همگنی برای واریانس اشتباه آزمایش‌ها نشان داد که معنی‌دار نبود. همچنین به علت پیروی داده‌ها از توزیع نرمال از داده‌های اصلی برای تجزیه واریانس استفاده شد. برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) استفاده گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب داده‌های عملکرد دانه ده ژنوتیپ طی دو فصل و در دو شرایط عادی و تنش خشکی (آورده نشده است) نشان داد که اثر ژنوتیپ و شرایط رطوبتی بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و شدت تنش ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین شدت تنش (نسبت اختلاف عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در دو شرایط به میانگین عملکرد کل در شرایط عادی، میانگین دو سال) که در این پژوهش برابر با ۰/۴۵ بود از دو منظر قابل بررسی است: از طرفی میزان تنش کلی اعمال شده بر جامعه مورد بررسی را نشان می‌دهد و از طرف دیگر میانگین

جدول ۲- شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی برای ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در مترمربع)

Table 2. Drought stress tolerance and susceptibility indices for sesame genptypes based on the average seed yield (kg m^{-2})

ژنوتیپ	Index شاخص								
	عملکرد در شرایط عادی	عملکرد در شرایط تنش	بهره‌وری متوسط	میانگین هندسی بهره‌وری	میانگین هارمونیک	تحمل به تنش	حساسیت به تنش	تحمل	شدت تنش
Genotype	Yp[1]	Ys[2]	MP[3]	GMP[4]	HM[5]	STI[6]	SSI[7]	TOL[8]	SI[9]
KC50321	0.128	0.036	0.082	0.068	0.056	0.361	1.620	0.092	0.721
KC50436	0.105	0.067	0.086	0.084	0.082	0.550	0.809	0.038	0.360
KC50638	0.108	0.060	0.084	0.080	0.077	0.510	0.990	0.048	0.440
KC50658	0.102	0.078	0.090	0.089	0.088	0.621	0.526	0.024	0.234
KC50662	0.161	0.090	0.125	0.120	0.115	1.137	0.994	0.071	0.442
KC50687	0.112	0.079	0.096	0.094	0.093	0.703	0.657	0.033	0.292
KC50983	0.107	0.076	0.091	0.090	0.089	0.638	0.649	0.031	0.289
KC50999	0.098	0.035	0.067	0.059	0.052	0.275	1.438	0.063	0.640
Darab1	0.085	0.050	0.067	0.065	0.063	0.333	0.943	0.035	0.420
Oltan	0.122	0.047	0.085	0.076	0.068	0.454	1.373	0.075	0.611

1. Yield in normal condition, 2. Yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index, 9. Stress intensity

میزان تحمل جامعه مورد بررسی را نشان می‌دهد، یعنی میزان تنش اعمال شده کلی بر ژنوتیپ‌های مورد بررسی ۴۵ درصد و میزان تحمل کلی آن‌ها نیز ۵۵ درصد (۵۵ درصد از پتانسیل عملکرد کل ژنوتیپ‌ها) بود.

به منظور تعیین روابط و جایگاه ژنوتیپ‌ها بر اساس تمام شاخص‌های تحمل و حساسیت و نسبت به یکدیگر، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی شاخص‌ها انجام شد. شاخص‌های تحمل و حساسیت که همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش دارند، معیار مناسبی برای تعیین میزان تحمل (یا حساسیت) ژنوتیپ‌ها می‌باشند (Fernandez, 1992). بنابراین با توجه به ضرایب همبستگی (جدول ۳) ملاحظه می‌شود که شاخص‌های تحمل به تنش MP، GMP و STI همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش داشتند. که با نتیجه آزمایش خماری و همکاران (Khammari *et al.*, 2013) مطابقت داشت.

همان طور که اشاره شد شاخص‌های تحمل همبستگی بالایی با عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش داشتند. بنابراین تفکیک ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش، با انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی صورت پذیرفت (جدول ۴). دو مؤلفه اول با مقادیر ویژه بیش از یک، سهم واریانس به ترتیب ۶۹/۴۳۰ و ۳۰/۲۷، جمعاً ۹۹/۷۰ درصد تغییرات کل را توضیح دادند.

مؤلفه اول با داشتن رابطه مثبت با عملکرد

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

Table 3. Correlation coefficients between seed yield and drought tolerance and susceptibility indices

		Index شاخص							
		عملکرد در شرایط تنش Ȳs[2]	بهره‌وری متوسط MP[3]	میانگین هندسی بهره‌وری GMP[4]	میانگین هارمونیک HM[5]	تحمل به تنش STI[6]	حساسیت به تنش SSI[7]	تحمل TOL[8]	شدت تنش SI[9]
Ȳp1	عملکرد در شرایط عادی	0.343^{ns}	0.834^{**}	0.679^{*}	0.544^{ns}	0.722^{*}	0.249^{ns}	0.617^{ns}	0.249^{ns}
Ȳs	عملکرد در شرایط تنش	1	0.804^{**}	0.921^{**}	0.972^{**}	0.886^{**}	-0.820^{**}	-0.528^{ns}	-0.820^{**}

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

1. Mean yield in normal condition, 2. Mean yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index, 9. Stress intensity.

جدول ۴- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه حاصل از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تحمل - حساسیت

Table 4. Eigen values and Eigen vectors of principle components analysis of drought tolerance and susceptibility indices

			Index شاخص							
Component	مقدار ویژه Eigen value	سهم نسبی واریانس Proportion (%)	عملکرد شرایط عادی Yp[1]	عملکرد شرایط تنش Ys[2]	بهره‌وری متوسط MP[3]	میانگین هندسی بهره‌وری GMP[4]	میانگین هارمونیک HM[5]	تحمل به تنش STI[6]	حساسیت به تنش SSI[7]	تحمل TOL[8]
1	5.554	69.43	0.800	0.837	0.997	0.983	0.938	0.989	-0.373	0.022
2	2.422	30.27	0.598	-0.547	0.057	-0.180	-0.343	-0.110	0.924	0.999

1. Yield in normal condition, 2. Yield in stress condition, 3. Mean productivity, 4. Geometric mean productivity, 5. Harmonic mean productivity, 6. Stress tolerance index, 7. Stress susceptibility index, 8. Tolerance index

دانه در دو شرایط عادی و تنش و ضرایب همبستگی بالا و معنی‌دار برای شاخص‌های MP، GMP، STI و HM مبین وجود ژنوتیپ‌های با عملکرد دانه بالاتر در دو شرایط (و به تعبیری تحمل بیش‌تر) بود. بنابراین این مؤلفه عملکرد را در هر دو شرایط عادی و تنش رطوبتی نشان می‌دهد. مقدار ضریب مؤلفه دوم برای شاخص حساسیت به تنش SSI و TOL بالا و برای شاخص‌های MP، GMP، STI، و HM پائین بود. در واقع این مؤلفه مبین حساسیت بیشتر می‌باشد. توجه به این نکته نیز مهم است که ضریب مؤلفه دوم برای عملکرد دانه در شرایط تنش منفی است. با توجه به مطالب فوق می‌توان گفت که مؤلفه اول تاکید

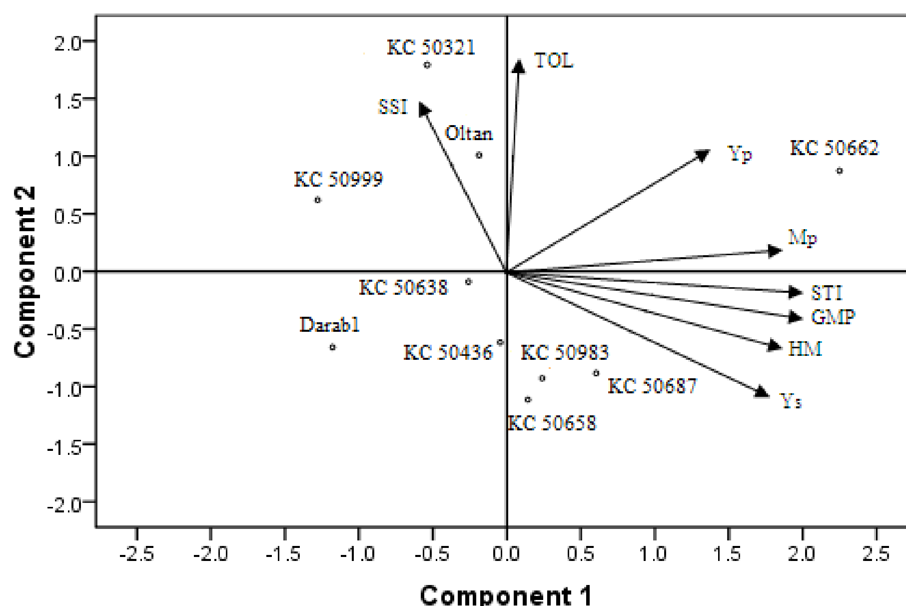
بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها و مؤلفه دوم تاکید بر حساسیت به تنش ژنوتیپ‌ها دارد.

صفحه دو بعدی (بای‌پلات) حاصل از دو مؤلفه اصلی و جایگاه ژنوتیپ‌ها نسبت به یکدیگر در شکل ۱ نشان داده شده است. به طوری که در این شکل دیده می‌شود مؤلفه اول دارای مقادیر بالا برای STI و همچنین مقادیر بالا برای عملکرد دانه در دو شرایط عادی و تنش خشکی می‌باشد، بنابراین این مؤلفه مبین پتانسیل عملکرد دانه در شرایط عادی و تنش خشکی است. بر این اساس هرچه جایگاه ژنوتیپی به سمت راست بای‌پلات متمایل باشد دارای پتانسیل عملکرد بیشتر و تحمل بالاتر است. از طرف دیگر مؤلفه دوم دارای مقدار زیاد برای SSI است، این مؤلفه مبین حساسیت به تنش است. بنابراین هرچه جایگاه ژنوتیپی به سمت بالای بای‌پلات متمایل باشد دارای حساسیت بیشتر به تنش خشکی است.

با توجه به بای‌پلات شکل ۱، بر اساس چهار سوی حاصل از دو مؤلفه، وضعیت ژنوتیپ‌ها قابل بررسی می‌باشد بدین گونه که ژنوتیپ شماره KC50662 که بیشترین تمایل را به سمت راست دارد با بیشترین مقدار از مؤلفه اول نسبت به سایرین، دارای پتانسیل تولید بیشتر در شرایط عادی و تولید بالا در شرایط تنش بوده و به تعبیری ژنوتیپ پر پتانسیل شناسایی می‌شود. با توجه به نمودار مذکور، این ژنوتیپ از نظر سایر شاخص‌ها مانند MP و GMP که بیان‌کننده پتانسیل عملکرد می‌باشند از وضعیت برتری برخوردار است و از نظر مؤلفه دوم که مبین حساسیت است دارای حساسیت متوسطی نسبت به اکثر ژنوتیپ‌ها می‌باشد. در واقع پتانسیل عملکرد در شرایط عادی و تنش برای ژنوتیپ شماره KC50662 بارزتر از حساسیت متوسط آن نسبت به تنش خشکی است.

ژنوتیپ‌های KC50321، رقم اولتان و KC50999 با داشتن مقادیر بیشتر از مؤلفه دوم ژنوتیپ‌های حساس‌تر محسوب شدند. ژنوتیپ‌های KC50436، KC50638 و Darab1، با عملکرد کمتر (پتانسیل پایین‌تر) دارای حساسیت نسبتاً متوسط بودند ولی در شرایط تنش وضعیت مناسبی بروز دادند. ژنوتیپ‌های KC50658، KC50687 و KC50983، با کمترین میزان از مؤلفه دوم نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها حساسیت کمتری به تنش خشکی نشان دادند به تعبیری متحمل بودند. بررسی و به کارگیری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تجزیه خوشه‌ای در بررسی وضعیت حساسیت- تحمل ژنوتیپ‌های کنجد برای تنش خشکی توسط سایر محققان نیز بکار رفته است (Hassanzadeh *et al*., 2009; Boureima *et al*., 2016).

نکته قابل توجه در مبحث بررسی وضعیت ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش این است رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها و تنوع در طیف وسیعی از واکنش‌ها در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی مشاهده شد که حاکی از تنوع کلی و قابل قبول در



شکل ۱- تفکیک ژنوتیپ‌های کنجد بر اساس دو مؤلفه اصلی و بردارهای مربوط به شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

Fig. 1. Sesame genotypes separated based on two principle components and drought tolerance and susceptibility indides

ژنوتیپ‌های کنجد مورد بررسی بود و بویژه تنوع رفتاری ژنوتیپ‌ها نسبت به تنش خشکی را نشان داد. بنابراین با توجه به پدیده تغییر اقلیم این پتانسیل بالقوه در منابع ژنتیکی کنجد می‌تواند در برنامه‌های پیش به‌نژادی و اصلاحی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

با توجه به دو دیدگاه: انتخاب ژنوتیپ برای عملکرد بالا در هر دو شرایط عادی و تنش خشکی و دیگری انتخاب ژنوتیپ صرفا بر اساس تحمل به تنش خشکی، ژنوتیپ شماره KC50662 به عنوان مصداق دیدگاه اول، به علت داشتن عملکرد دانه بالا، قابلیت کشت در مناطق خشک را دارد بطوریکه ژنوتیپ مذکور با داشتن حساسیت نه چندان کم به تنش خشکی، ولی به علت عملکرد بالا در هر دو شرایط رطوبتی عادی و تنش خشکی، می‌تواند در دوره‌های خشک، عملکرد بیشتری را داشته باشد و در دوره‌هایی که آب قابل دسترس بیشتر است، توان استفاده بهینه از شرایط مناسب جهت حداکثر عملکرد دانه را دارد و تا حدی جبران کمبود عملکرد در سال‌های خشک را بنمایند. ولی بر اساس دیدگاه دوم، اگر هدف تنها شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل و منابع تحمل به خشکی باشد، ژنوتیپ‌های KC50658، KC50983 و KC50687 که از حساسیت و کاهش عملکرد کمتری برخوردار بودند، قابل استفاده می‌باشند.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که

اثر شرایط رطوبتی بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد روغن دانه در شرایط عادی و تنش خشکی به ترتیب با میانگین ۵۵/۵۶ و ۵۴/۱۷ درصد تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های ژنوتیپ‌های کنجد نشان داد که تنها ژنوتیپ شماره KC50662 از نظر درصد روغن دانه (۵۶/۷۱ درصد) دارای تفاوت معنی‌دار و بیشتر نسبت به رقم اولتان (۵۳/۸۸ درصد) بود. درصد روغن سایر ژنوتیپ‌ها در سطح رقم اولتان بود و تفاوت معنی‌داری با آن نداشتند (جدول ۶).

سایر محققان نیز تغییرات درصد روغن در کنجد و سایر گیاهان در شرایط رطوبتی مختلف را گزارش کرده‌اند. کساب و همکاران (Kassab *et al.*, 2012) گزارش کردند که با افزایش سطح تنش رطوبتی، درصد روغن دانه کنجد را کاهش یافت. ایوبی‌زاده و همکاران (Ayoubizadeh *et al.*, 2018) نیز کاهش درصد روغن را در اثر تنش خشکی در کنجد گزارش کردند. در آزمایش اوزکان و کولاک (Ozkan and Kolak, 2013) بین ژنوتیپ‌های کنجد از نظر درصد روغن دانه تفاوت معنی‌دار وجود داشت ولی بین سطوح مختلف رطوبتی تفاوتی مشاهده نشد. همچنین در آزمایشی دیگر در شرایط عادی و تنش خشکی، با وجود کاهش ملایم در درصد روغن، تفاوت معنی‌داری برای درصد روغن دانه بین سطوح متفاوت رطوبتی گزارش نشد (Kim *et al.*, 2006).

برخلاف درصد روغن که بین دو شرایط رطوبتی دارای تفاوت معنی‌دار بود، میزان اسیدهای چرب اولئیک، لینولئیک، لینولنیک، استئاریک و پالمیتیک در دو شرایط تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علی رغم کاهش محتوی روغن نسبت اسیدهای چرب مذکور در پروفایل روغن ژنوتیپ‌ها، ثابت باقی ماند. اسیدهای چرب اولئیک، لینولنیک، استئاریک و پالمیتیک به ترتیب دارای افزایش حدود ۲، ۱۷، ۵ و ۸ درصد در شرایط خشکی بودند، اسید چرب لینولئیک، کاهش حدود دو درصد داشت (جداول ۶ و ۷). تنها اسید چرب پالمیتولئیک با کاهش حدود ۰/۰۲ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶). در آزمایش کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2006)، محتوی روغن علی رغم کاهش اندک، در سطح معنی‌داری تغییر نکرد و میزان اسید اولئیک افزایش و اسید لینولئیک کاهش یافت که از این نظر با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

درصد روغن در شرایط خشکی کاهش یافت. یکی از دلایل آن میتواند افزایش میزان اکسیداسیون اسیدهای چرب در شرایط تنش و در نتیجه کاهش درصد روغن باشد (Awasthi *et al.*, 2017). همچنین محققان به کاهش کربوهیدرات‌های قابل دسترس، در شرایط تنش خشکی، جهت ساخت روغن اشاره کرده‌اند (Taize and Zeiger, 1991). از

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب داده‌ها برای صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کنجد

Table 5. Combined analysis of variance for biochemical traits of sesame genotypes

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df	محتوی روغن Oil content	محتوی اسید پالمیتیک Palmitic acid content	محتوی اسید پالمیتولئیک Palmitoleic acid content	محتوی اسید استاریک Stearic acid content	محتوی اسید اولئیک Oleic acid content	محتوی اسید لینولئیک Linoleic acid content	محتوی اسید لینولنیک Linolenic acid content	محتوی پروتئین خام Grain crude protein content	محتوی لیگنان کل روغن Total lignan content	قدرت آنتی اکسیدانی روغن Antioxidant power
Year (Y)	سال	1	92.529**	8.239**	0.013**	0.971^{ns}	61.723**	98.231**	0.0003^{ns}	2.247^{ns}	37279093**	584.267**
Moisture condition (M)	شرایط رطوبتی	1	28.995**	0.039^{ns}	0.009**	0.515^{ns}	12.933^{ns}	13.331^{ns}	0.151^{ns}	152.020**	6710298^{ns}	6863.753**
Y × M	سال × شرایط رطوبتی	1	24.054**	0.187^{ns}	0.010**	0.090^{ns}	8.902^{ns}	3.801^{ns}	0.060^{ns}	2.111^{ns}	12514084*	1077.677**
Error 1	خطای ۱	8	2.073	0.129	0.0065	1.334	2.914	3.071	0.087	6.173	1663599	46.809
Genotype (G)	ژنوتیپ	4	16.752**	0.813**	0.0023**	1.039**	50.304**	52.287**	0.011^{ns}	3.773^{ns}	28.6092**	613.855**
Y × G	سال × ژنوتیپ	4	3.021^{ns}	0.045^{ns}	0.002*	0.119^{ns}	4.532^{ns}	4.936*	0.006^{ns}	1.607^{ns}	944742*	713.565**
M × G	شرایط رطوبتی × ژنوتیپ	4	3.612^{ns}	0.014^{ns}	0.001*	0.199^{ns}	1.462^{ns}	2.072^{ns}	0.018^{ns}	2.335^{ns}	1018186*	1234.197**
Y × G × M	سال × ژنوتیپ × شرایط رطوبتی	4	3.209^{ns}	0.040^{ns}	0.001*	0.277^{ns}	1.707^{ns}	1.801^{ns}	0.018^{ns}	2.437^{ns}	466392^{ns}	389.705**
Error 2	خطای ۲	32	2.789	0.087	0.0004	0.221	1.960	1.617	0.012	3.112	280338	21.831
C.V %	درصد ضریب تغییرات		3.04	3.54	21.94	9.37	3.15	3.05	21.29	8.14	13.877	14.50

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns: غیر معنی‌دار.

* and** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

جدول ۶ – مقایسه میانگین صفات بیوشیمیایی در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 6. Mean comparison of seed biochemical traits in sesame genotypes

ژنوتیپ Genotypes	درصد روغن Oil content (%)	ژنوتیپ Genotype	درصد اسید پالمیتیک Palmitic acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	درصد اسید استئاریک Stearic acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	درصد اسید اولئیک Oleic Acid content (%)
KC50662	56.710	KC50999	8.549	Oltan	5.420	Oltan	47.073
KC50687	55.186	KC50687	8.530	KC50999	5.144	KC50321	45.797
KC50999	54.743	KC50662	8.404	KC50321	5.069	KC50662	44.095
Oltan	53.881	Oltan	8.244	KC50687	4.764	KC50999	43.149
KC50321	53.819	KC50321	7.917	KC50662	4.698	KC50687	41.948
میانگین Mean	54.868		8.329		5.019		44.413
میانگین شرایط رطوبتی عادی Mean of normal conditions	55.563		8.354		4.926		43.948
میانگین شرایط رطوبتی تنش Mean of stress conditions	54.173		8.303		5.112		44.877
LSD 1%	1.869		0.330		0.526		1.566

جدول ۷– مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × سال بر صفات بیوشیمیائی دانه در کنجد

Table 7. Mean comparison of genotype × year interaction effect on seed biochemical traits in sesame

ژنوتیپ Genotype	درصد اسید لینولئیک Linoleic Acid content (%)	ژنوتیپ Genotyp	لیگنان کل روغن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Total lignan content of oil (mg kg^{-1})
		2014	
KC50687	44.409	KC50321	5055
KC50999	44.398	KC50662	4975
KC50662	43.256	Oltan	4533
KC50321	42.574	KC50687	4410
Oltan	39.899	KC50999	4382
		2015	
KC50687	43.833	KC50321	3823
KC50999	41.217	KC50662	3500
KC50662	40.660	KC50999	3481
KC50321	38.520	Oltan	2549
Oltan	37.510	KC50687	2121
Mean میانگین	41.628		3883
میانگین شرایط رطوبتی عادی Mean of normal conditions	42.099		3548
میانگین شرایط رطوبتی تنش Mean of stress conditions	41.156		4217
LSD 1%	1.496		634

طرفی در شرایط تنش خشکی فرآیندهای آنزیمی و تشکیل پروتئین‌ها باعث مصرف آسیمیلات‌ها می‌شود، در واقع گیاه در برابر تنش غیر زنده با تولید ترکیبات

زیستی فعال با آثار تنش مقابله می‌کند (Hamrouni *et al*., 2001; Laribi *et al*., 2009) که با اثر بر عملکرد محصول میزان روغن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این آزمایش درصد پروتئین دانه نیز افزایش یافت. تغییرات در پروفایل اسیدهای چرب در بعضی منابع (Sanchez *et al*., 2018) به دلیل تفوق به شرایط تنش ذکر گردیده است. افزایش آنتی اکسیدان‌ها و گرایش ژنوتیپ‌ها به تولید اسیدهای چرب غیراشباع، رفتار سازگاری گیاه به تنش خشکی است که باعث تغییر در پروفایل اسیدهای چرب خواهد شد (البته با توجه به درصد و احتساب قدر مطلق اسید چرب مربوطه) (Moradi *et al*., 2017). بطور کلی میزان تغییرات درصد روغن و پروفایل اسیدهای چرب تحت تاثیر ژنتیک، محیط و اثر متقابل آن‌ها قرار دارد (Carlsson *et al*., 2008).

ژنوتیپ‌ها از نظر میزان اسیدهای چرب رفتارهای متفاوتی نشان دادند (جداول ۶ و ۷). داشتن مقادیر بیشتر از اسید چرب اولئیک در ترکیب روغن مزیت محسوب می‌شود زیرا جزو اسیدهای چرب ضروری می‌باشد. از نظر اسید چرب اولئیک، ژنوتیپ شماره KC50321 هم سطح رقم اولتان و سایر ژنوتیپ‌ها با تفاوت معنی‌دار، دارای درصد کمتری از این اسید چرب نسبت به رقم اولتان بودند (جدول ۶). ژنوتیپ شماره KC50662 از این نظر بعد از ژنوتیپ شماره KC50321 و در سطح رقم اولتان و دارای اسید چرب اولئیک بالا بود.

در آزمایش بررسی تحمل به خشکی کنجد توسط اوزکان و کولاک (Ozkan and Kolak, 2013) با کاهش سطح رطوبت، میزان اسید اولئیک در هر دو رقم مورد بررسی کاهش یافت ولی میزان اسید لینولئیک در یکی از ارقام افزایش یافت و در دیگری تفاوت مشاهده نشد. در آزمایش بر روی کنجد در شرایط عادی و تنش خشکی، اسید اولئیک افزایش و اسید لینولئیک کاهش یافت (Kim *et al*., 2006).

تجزیه واریانس داده‌های برای اسید چرب پالمیتیک نشان داد که بین ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی دار وجود داشت (جدول ۵). پایین بودن میزان اسید پالمیتیک در نیم‌رخ اسیدهای چرب روغن از نظر سلامت تغذیه‌ای مناسب است. میزان اسید چرب پالمیتیک در روغن کنجد بر اساس استاندارد بین‌المللی کدکس باید بین ۷/۹-۱۲ درصد اسیدهای چرب باشد (FAO/WHO and Codex Alimentarius Commission, 2001)، یعنی بالاتر از ۱۲ درصد در روغن کنجد غیر مجاز است. با توجه به مضرات اسید چرب پالمیتیک قابل توجه می‌باشد که رقم اولتان کمترین میزان اسید چرب پالمیتیک را داشت و بعد از آن کمترین میزان به ژنوتیپ شماره KC50662 اختصاص داشت (جدول ۶).

اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای اسید لینولئیک (C18:2) در سطح احتمال پنج درصد

معنـــی‌دار بـــود (جـــدول ۷). در ســـال اول همـــه ژنوتیپ‌هـا از نظـر ایـن اسـید چـرب بـا تفـاوت معنی‌دار بالاتر از رقـم اولتـان قـرار داشـتند و در سال دوم تنها ژنوتیپ شماره KC50321 در حد رقم اولتان بود، سایر ژنوتیپ‌ها همانند سـال اول با تفـاوت معنـی‌دار بـالاتر از رقـم مـذکور قـرار گرفتند.

اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × تیمار رطوبتی × سـال بـرای اسـید چـرب پالمیتولئیـک (C16:1) معنی‌دار بود (جـدول ۵). و بـا توجـه بـه مقایسـه میانگین اثر متقابل سه‌گانه فقط در سال اول و در شـــرایط تـــنش بـــین ژنوتیپ‌هـــای KC50321، KC50662 و KC50687 بـا شـاهد و بـا میـزان بیشتر، در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجـود داشت و در بقیه حالات تفاوتی بین ژنوتیپ‌هـا و شاهد مشاهده نشد. از نظر محتـوی اسـید چـرب استئاریک (C18:0)، ژنوتیپ‌های KC50999 و KC50321 بـــا رقـــم اولتـــان تفـــاوت معنـــی‌دار نداشتند. سایر ژنوتیپ‌ها، از نظر این اسید چـرب در سطح پائین‌تر و معنی‌دار نسبت به رقم اولتـان قرار گرفتند (جدول ۸).

از نظر نیم‌رخ مناسب اسیدهای چـرب بـرای تغذیـــه وضـــعیت ژنوتیـــپ شـــماره KC50321 مناسب‌تر از سایرین بود زیرا دارای مقادیر بیشتر از اســـیدهای چـــرب اولئیـــک، لینولئیـــک و لینولنیک بود و مقـادیر کمتـری از اسـید چـرب پالمیتیک داشت. اثر متقابل ژنوتیپ × سال برای تعـدادی از صـفات بیوشـیمایی مـورد بررسـی بی‌شـک مربـوط بـه تفاوت‌هـای آب و هـوایی می‌باشد که ممکن است در دو سال اتفاق بیافتـد بویژه که ژنوتیپ‌های متفاوت کنجـد نسـبت بـه رژیم دمایی شبانه روز واکنش نشان می‌دهند، به عنوان مثال دماهای نسبتاً سرد در رشـد کنجـد و در نتیجـــه بـــر میـــزان روغـــن آن مـــؤثر اســـت (Nath *et al*., 2003).

کاهش یک یا تعدادی از اسیدهای چرب در مقابل افزایش یک یا تعدادی از اسیدهای چرب دیگر در روغن دانـه، ازشـرایط عـادی بـه تـنش خشکی، با توجه به سهم آن‌ها در روغن، از نظـر توازن روابـط اکسیداسـیون و احیـاء، باتوجـه بـه تعـداد پیونـدهای دوگانـه موجـود در اسـیدهای چرب مربوطه، قابل توجه می‌باشد. به طوری که در این آزمـایش از شـرایط عـادی بـه خشـکی، کـاهش دو درصـد در اسـید چـرب لینولئیـک (C18:2)، در مقابل افزایش دو درصـد در اسـید چرب اولئیک (C18:1)، باتوجه بـه سـهم مشـابه هر دو در پروفایل روغن (حدود ۴۰ درصد) رخ داد.

درصد پروتئین دانه ژنوتیپ‌های کنجد در دو شـرایط رطـوبتی عـادی و تـنش خشـکی دارای تفاوت معنی‌دار در سـطح احتمـال یـک درصـد بود (جدول ۵). میزان پروتئین در شـرایط عـادی (۲۰/۰۷۸ درصـــد) نســـبت بـــه شـــرایط تـــنش (۲۳/۲۲۰ درصد) کمتر بود (جدول ۶). در واقـع میانگین محتوی پروتئین خام دانه با توجه به فعال شــدن ســازوکارهای تحمــل بــه تــنش و تنظـیم اسـمزی آب سـلول‌ها بـرای سـازگاری بـا تـنش خشـکی افـزایش یافـت، ایـن نتیجـه بـا نتـایج

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × سال × شرایط رطوبتی بر درصد اسید پالمیتولئیک و قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن در ژنوتیپ‌های کنجد

Table 9. Mean comparison pf genotype × year × moistute conditions interaction effect on seed palmitoleic acid content and antioxidant power in sesame genotypes

شرایط رطوبتی Moisture conditions	ژنوتیپ Genotype	درصد اسید پالمیتولئیک Palmitoleic acid content (%)	ژنوتیپ Genotype	قدرت آنتی اکسیدانی روغن (میکرومول بر لیتر) Antioxidant power of oil (µmol L^{-1})
			2014	
شرایط رطوبتی نرمال Normal conditions	KC50999	0.111	KC50662	22.084
	KC50321	0.111	KC50687	15.908
	KC50662	0.097	KC50999	13.336
	KC50687	0.095	KC50321	12.663
	Oltan	0.096	Oltan	6.811
شرایط رطوبتی تنش Stress conditions	KC50321	0.107	KC50321	86.589
	KC50687	0.064	Oltan	55.356
	KC50662	0.063	KC50687	31.333
	KC50999	0.011	KC50662	23.463
	Oltan	0.009	KC50999	23.398
			2015	
شرایط رطوبتی نرمال Normal conditions	KC50999	0.104	KC50999	37.837
	KC50687	0.12	KC50687	30.888
	KC50662	0.11	KC50662	26.571
	KC50321	0.104	KC50321	24.725
	Oltan	0.088	Oltan	24.367
شرایط رطوبتی تنش Stress conditions	KC50687	0.132	KC50999	56.594
	KC50999	0.106	Oltan	49.171
	KC50662	0.106	KC50321	46.638
	KC50321	0.096	KC50687	34.817
	Oltan	0.093	KC50662	21.744
Mean میانگین		0.0911		32.215
میانگین شرایط رطوبتی عادی Mean of normal conditions		0.1036		21.519
میانگین شرایط رطوبتی تنش Mean of stress conditions		0.0787		42.910
LSD 1%		0.041		10.456

آزمـایش النعـیم (El Naim, 2010) مطابقـت داشت. تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌هـا از نظـر میزان پروتئین دانه وجود نداشت (جدول ۵).

با وجود افزایش میزان لیگنان‌های روغـن در شرایط تنش، تفاوت معنی‌داری بـین دو شـرایط رطوبتی وجـود نداشـت (جـدول ۵). اثـر متقابـل دوگانه ژنوتیپ × سال (جـدول ۷) و ژنوتیـپ × شرایط رطوبتی برای این صفت در سطح احتمال یـک درصـد معنـی‌دار شـد (جـدول ۹). مقایسـه میانگین‌های اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × سال برای صفت لیگنان‌های کل روغن نشان داد که در سال اول همه ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم اولتان نداشتند، ولی در سال دوم ژنوتیپ‌های KC50321، KC50662 و KC50999 با مقادیر بیشتر دارای تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان بودند.

کیم و همکاران (Kim *et al*., 2006) نشان دادند که با افزایش تنش خشکی در اواخر دوره

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × شرایط رطوبتی بر میزان لیگنان کل دانه ژنوتیپ‌های کنجد

Table 9. Mean comparison of genotype × moisture conditions interaction effect on seed total lignin content in sesame genotypes

ژنوتیپ Genotype	لیگنان کل روغن (میلی گرم بر کیلوگرم) Total lignan content (mg kg^{-1})
	Noraml conditions شرایط رطوبتی نرمال
KC50321	4426
KC50662	3630
Oltan	3370
KC50999	3254
KC50687	3062
	Stress conditions شرایط رطوبتی تنش
KC50662	4844
KC50999	4609
KC50321	4452
Oltan	3712
KC50687	3469
Mean میانگین	3883
میانگین شرایط رطوبتی عادی Mean of normal conditions	3548
میانگین شرایط رطوبتی تنش Mean of stress conditions	4217
LSD 1%	634

کپسول‌دهی، لیگنان‌های دی و تری گلیکوزید در روغن افزوده شد و محتوی سزامین و سزامولین دانه کاهش یافت. معنی‌دار شدن اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × تیمار رطوبتی برای صفت لیگنان کل روغن در شرایط رطوبتی عادی، ژنوتیپ شماره KC50321 از نظر این صفت بالاتر از رقم اولتان قرار گرفت و سایر ژنوتیپ‌ها هم در سطح رقم مذکور بودند (جدول ۹). در محیط تنش رطوبتی، ژنوتیپ‌های KC50662، KC50999 و KC50321 از نظر صفت لیگنان کل روغن با تفاوت معنی‌دار برتر از رقم اولتان بودند (جدول ۹).

میزان قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن با تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد در شرایط تنش افزایش یافت (جدول ۵) که نشان می‌دهد در شرایط تنش خشکی یکی از سازوکارهای سازگاری با تنش از طریق افزایش عوامل جلوگیری کننده از فعالیت عوامل اکسیدکننده می‌باشد. بنابراین با توجه به ثبات نسبی اسیدهای چرب در شرایط تنش، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی باعث ارتقاء کیفیت روغن کنجد از نظر قدرت احیاکنندگی و عوامل اکسیدکننده می‌شود. کیم و همکاران (Kim *et al*., 2006) گزارش کردند که خشکی باعث تغییر و بهبود کیفیت ترکیبات دانه کنجد می‌شود. نتایج پژوهش حاضر با نتایج حسین و همکاران

(Hussein *et al.* 2015) نیز تطابق نشان داد.

میزان لیگنان کل روغن در شرایط تنش افزایش داشت ولی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین میتوان نتیجه گرفت که با وجود افزایش اندک و غیر معنی‌دار لیگنان‌ها در شرایط تنش تنها همین تفاوت اندک باعث افزایش معنی‌دار قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن گردید. برای این صفت اثر متقابل سه‌گانه ژنوتیپ × تیمار رطوبتی × سال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه نشان داد که در سال اول و در شرایط رطوبتی عادی، تنها ژنوتیپ KC50662 دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتر نسبت به رقم اولتان بود و سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم شاهد نداشتند (جدول ۷).

در سال اول و در شرایط رطوبتی تنش خشکی ژنوتیپ شماره KC50321 دارای قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتر با تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان بود و سایر ژنوتیپ‌ها با تفاوت معنی‌دار در مراتب پائین‌تر از رقم مذکور قرار گرفتند (جدول ۸). در سال دوم و در شرایط رطوبتی عادی تنها ژنوتیپ شماره KC50999 با میزان بیشتری قدرت آنتی‌اکسیدانی، تفاوت معنی‌دار با رقم اولتان نشان داد. سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی داری با شاهد نداشتند. در سال دوم و در شرایط تنش رطوبتی روغن ژنوتیپ شماره KC50662 با تفاوت معنی‌دار نسبت به رقم اولتان از قدرت آنتی‌اکسیدانی کمتری برخوردار بود و سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری با رقم اولتان نداشتند (جدول ۸).

به طور کلی در اثر تنش خشکی قدرت آنتی اکسیدانی روغن به شدت افزایش (۹۹ درصد) پیدا کرد. بی تردید قسمتی از این افزایش مربوط به افزایش ۱۹ درصد لیگنان کل روغن به عنوان عامل آنتی‌اکسیدان بود. گرچه دامنه لیگنان کل روغن افزایش چندانی نداشت ولی دامنه قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن در شرایط عادی و تنش خشکی به ترتیب ۹/۹۹۸ و ۴۴/۰۱۱ میکرومول بر لیتر بود (جدول ۸). میانگین محتوی پروتئین خام دانه نیز به ترتیب ۲۰/۰۷۸ و ۲۳/۲۶۱ درصد بود. فعال شدن سازوکارهای تحمل به تنش و تنظیم اسمزی آب سلول‌ها و افزایش دامنه محتوی پروتئین خام دانه از ۰/۶۸ به ۲/۴۴ درصد نشان دهنده رفتار متفاوت ژنوتیپ‌ها در سازگاری به تنش خشکی بود (جدول ۱۰).

در شرایط رطوبتی عادی همبستگی درصد روغن با اسید چرب پالمیتیک (C16:0) منفی و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و با اسید چرب اولئیک (C18:1) نیز منفی و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و با اسید چرب لینولئیک (C18:2) همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح یک درصد نشان داد (جدول ۱۰). از طرفی با توجه به رابطه منفی و معنی‌دار بین دو اسید چرب اولئیک و لینولئیک با ضریب همبستگی بسیار بالای ($r = -۰/۹۸۱^{**}$) می‌توان نتیجه گرفت که توازنی بین نیمرخ محتوی اسیدهای چرب و درصد روغن اتفاق افتاده به طوری که همگام با روند کاهشی در اسید چرب

جدول ۱۰- ضرایب همبستگی بین صفات بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کنجد در شرایط عادی (پائین قطر) و در شرایط تنش رطوبتی (بالای قطر)

Table 10. Correlation between biochemical traits of sesame genotypes under normal (below diameter) and stress conditions (above diameter) by Pearson method

صفت Traits	(1) محتوی روغن Oil content	(2) محتوی پروتئین خام دانه Seed crude protein content	(3) محتوی اسید پالمیتیک Palmitic acid content	(4) محتوی اسید پالمیتولئیک Palmitoleic acid content	(5) محتوی اسید استئاریک Stearic acid content	(6) محتوی اسید اولئیک Oleic acid content	(7) محتوی اسید لینولئیک Linoleic acid content	(8) محتوی اسید لینولنیک Linolenic acid content	(9) محتوی لیگنان کل روغن Total lignans content	(10) قدرت آنتی اکسیدانی روغن Antioxidant power
1	1	-0.018^{ns}	-0.142^{ns}	-0.168^{ns}	-0.042^{ns}	-0.345^{ns}	0.332^{ns}	0.059^{ns}	0.127^{ns}	-0.403^{*}
2	0.060^{ns}	1	0.013^{ns}	-0.046^{ns}	-0.162^{ns}	-0.473^{**}	0.513^{**}	-0.131^{ns}	0.414^{*}	0.091^{ns}
3	-0.390^{*}	0.052^{ns}	1	0.421^{*}	-0.205^{ns}	-0.148^{ns}	-0.012^{ns}	0.011^{ns}	-0.547^{**}	-0.317^{ns}
4	-0.128^{ns}	-0.228^{ns}	-0.049^{ns}	1	-0.233^{ns}	0.073^{ns}	-0.122^{ns}	0.282^{ns}	-0.509^{**}	0.254^{ns}
5	0.275^{ns}	0.037^{ns}	-0.387^{*}	-0.272^{ns}	1	0.259^{ns}	-0.379^{*}	0.377^{*}	-0.187^{ns}	0.207^{ns}
6	-0.705^{**}	-0.155^{ns}	-0.057^{ns}	-0.106^{ns}	0.080^{ns}	1	-0.940^{**}	0.130^{ns}	-0.220^{ns}	0.399^{*}
7	0.734^{**}	0.124^{ns}	-0.077^{ns}	0.118^{ns}	-0.142^{ns}	-0.981^{**}	1	-0.318^{ns}	0.404^{*}	-0.353^{ns}
8	0.242^{ns}	0.199^{ns}	-0.186^{ns}	0.397^{*}	0.135^{ns}	-0.310^{ns}	0.259^{ns}	1	-0.524^{**}	0.199^{ns}
9	0.304^{ns}	-0.006^{ns}	-0.574^{**}	0.096^{ns}	0.175^{ns}	0.004^{ns}	0.061^{ns}	0.294^{ns}	1	0.020^{ns}
10	-0.678^{**}	-0.107^{ns}	0.641^{**}	0.058^{ns}	-0.466^{**}	0.256^{ns}	-0.306^{ns}	-0.209^{ns}	-0.456^{*}	1

* و**: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns: غیر معنی‌دار.

* and** : Significant at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.
ns: Not- significant.

اولیـه پالمیتیـک (C16:0) رونـدی افزایشـی در اسـید چـرب اسـتئاریک رخ داد و از طرفـی بـا کـاهش اسـید چـرب اولئیـک و افـزایش اسـید چـرب لینولئیـک کـه در تـوازن بـا یکـدیگر می‌باشـند رونـد افـزایش روغـن همگـام بـا ایـن اتفاقات بود. از آنجائیکه کـه تولیـد هـر یـک از این ترکیبات وابسته به هم می‌باشند، ایـن روابـط منطقـی بـه نظر می‌رسـد. ایـن نتـایج بـا نتـایج آزمایش کرت (Kurt, 2018) موافقت داشت.

در شرایط تنش رطوبتی نیز بین درصد روغن و قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن همبسـتگی منفـی معنـی‌دار در سـطح احتمـال پـنج درصـد وجـود داشـت (جـدول ۱۰). میتـوان نتیجـه گرفـت در شرایط تـنش هرچـه تخصـیص مـواد فتوسـنتزی برای تشکیل عوامل ضداکسایش بیشـتر باشـد از میزان تخصیص آن‌ها برای تولیـد روغـن کاسـته می‌شـود. بـین پـروتئین دانـه و سـایر صـفات در شـرایط رطـوبتی عـادی همبسـتگی معنـی‌داری مشاهده نشد ولی در شرایط تـنش خشـکی، بـین این صفت با اسید چرب اولئیک همبستگی منفی و بـا اسـید چـرب لینولئیـک همبسـتگی مثبـت معنی‌دار در سطح احتمال یـک درصـد مشـاهده شد (جدول ۱۰).

همبسـتگی مثبـت و معنـی‌داری بـین میـزان درصد پروتئین دانه و اسید چرب لینولئیک دیده شد. ظاهراً ضمن تغییر در میزان درصـد پـروتئین دانه از شرایط عادی به تنش خشکی به طور توأم نسبت اسیدهای چـرب نیـز از شـرایط عـادی بـه تنش تغییـر کـرد. بطوریکـه نسبت اسید چـرب اولئیک به لینولئیک از شرایط رطوبتی عادی بـه شرایط تنش رطوبتی افـزایش نشـان داد و رونـد این تغییر همگام با افزایش پروتئین دانه بود. قابل توجـه اسـت کـه رابطـه اسـید اولئیـک و اسـید لینولئیک در هر دو شرایط منفی بود.

درصد پروتئین دانه و اسید چـرب لینولئیـک (C18:2) همبستگی مثبـت و معنـی‌دار در سـطح احتمال پنج درصد با لیگنان کـل روغـن داشـتند (جدول ۱۰). همچنین اسیدهای چرب پالمیتیـک و لینولئیک با لیگنان‌های کل روغـن همبسـتگی منفی و معنـی‌دار در سـطح احتمـال پـنج درصـد نشان دادند. بین قدرت آنتی‌اکسـیدانی و درصـد روغـن و اسـید چـرب اسـتئاریک رابطـه منفـی و معنـی‌دار در سـطح احتمـال یـک درصـد، بـا لیگنان کل روغن رابطه منفی معنی‌دار در سـطح پـنج درصـد و بـا میـزان درصـد اسـید چـرب پالمیتیـک در سـطح احتمـال یـک درصـد همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت (جدول ۱۰). بـین قـدرت آنتی‌اکسـیدانی یـا قـدرت احیاءکننـدگی روغـن و درصـد روغـن دانـه و درصد اسید چرب اولئیک به ترتیـب همبسـتگی منفـی و مثبـت در سـطح احتمـال پـنج درصـد مشاهده شد (جدول ۱۰).

نتیجه‌گیری

در انتخاب ژنوتیپ در برنامه‌های به‌نژادی دو دیدگاه: یکی عملکرد دانه بالا در هر دو شـرایط عادی و تنش رطوبتی و دیگری تحمـل ژنوتیـپ بـه تـنش مطـرح مـی باشـد. ژنوتیـپ شـماره

KC50662 به عنوان مصداق دیدگاه اول، به علت داشتن عملکرد دانه بالا، قابلیت کشت در مناطق خشک را دارد، بطوریکه ژنوتیپ مذکور با داشتن حساسیت نه چندان کم به تنش خشکی، ولی به علت عملکرد دانه بالا در هر دو شرایط رطوبتی می‌تواند در دوره‌های خشک، عملکرد دانه قابل قبول داشته باشد و در دوره‌هایی که آب قابل دسترس بیشتر است، توان استفاده بهینه از شرایط مناسب جهت عملکرد دانه بالا را دارا است. اگر هدف فقط شناسایی منابع تحمل به خشکی، بر اساس دیدگاه دوم باشد، ژنوتیپ‌های KC50658، KC50983 و KC50687 که از کمترین حساسیت و کاهش عملکرد دانه برخوردار بودند قابل استفاده می‌باشند.

با توجه به افزایش لیگنان‌ها و افزایش معنی‌دار قدرت آنتی‌اکسیدانی روغن، عدم تغییرات میزان اسیدهای چرب مفید و کاهش اسید چرب پالمیتیک در نیم‌رخ اسیدهای چرب روغن، همچنین افزایش محتوی پروتئین دانه از شرایط عادی به تنش خشکی، می‌توان نتیجه گرفت که تنش خشکی باعث بهبود کیفیت تغذیه‌ای روغن و ارتقاء آن از نظر قدرت احیاکنندگی و جلوگیری از عوامل اکسیدکننده میشود. بنابراین می‌توان گفت که تنش خشکی باعث بهبود کیفیت روغن نیز شد. ژنوتیپ KC50662 از وضعیت عملکردی مناسب در دو شرایط رطوبتی برخوردار بود و از نظر درصد روغن دانه دارای تفاوت معنی‌دار و بیشتر نسبت به رقم اولتان بود. از نظر لیگنان کل روغن، اسید چرب اولئیک، پالمیتولئیک و لینولئیک ژنوتیپ KC50662 نیز هم سطح یا با میزان بیشتر نسبت به رقم شاهد اولتان بود.

قدرت آنتی‌اکسیدانی و محتوی اسید چرب استئاریک در ژنوتیپ KC50662 پائین‌تر از رقم شاهد اولتان بود. ژنوتیپ شماره KC50662 کمترین میزان اسید چرب مضر پالمیتیک را بعد از رقم اولتان داشت. ضمن این که درصد پروتئین کلیه ژنوتیپ‌ها افزایش نشان داد به طور کلی تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر میزان پروتئین دانه وجود نداشت. در حقیقت بر اساس برآیند نتایج کمی و کیفیت ژنوتیپ KC50662 برتری خود را از نظر عملکرد دانه و کیفیت روغن نشان داد. با توجه به رفتار کلی ژنوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه و کیفیت روغن و با توجه به اثر متقابل ژنوتیپ × محیط × سال توجه به تغییرات واکنش ژنوتیپ‌ها در انتخاب والدین در برنامه به‌نژادی کنجد ضروری است.

سپاسگزاری

نگارندگان از مدیریت محترم گروه آموزشی زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، بخش تحقیقات ژنتیک و بانک ژن گیاهی ملی ایران – مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، و مؤسسه تحقیقات فنی و

مهندسی کشاورزی – سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

References

Amani, M., Golkar, P., and Mohammadi-Nejad, G. 2012. Evaluation of drought tolerance in different genotypes of sesame (*Sesamum indicum* L.*)*. International Journal of Recent Scientific Research 3 (4): 226-230.

Ayoubizadeh, N., Laei, G., Dehaghi, A. M., Sinaki, M. J. and Rezvan, S. 2018. Seed yield and fatty acids composition of sesame genotypes as affected by foliar application of iron nano-chelate and fulvic acid under drought stress. Applied Ecology and Environmental Research 16 (6): 7585-7604.

Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H., and Nayyar, H. 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. Functional Plant Biology 41 (11): 1148-1167.

Benzie, I. F., and Strain J. J. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: Direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. Methods in Enzymology 299: 15-27.

Bhatnagar, A. S., Hemavathy J., and Gopala Krishna A. G. 2015. Development of a rapid method for determination of lignans content in sesame oil. Journal of Food Science and Technology 52 (1): 521-527.

Boureima, S., Diouf, S., Amoukou, M., and Van Damme, P. 2016. Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. International Journal of Pure and Applied Bioscience 4 (1): 45-60.

Carlsson, A. S., Chanana, N. P., Gudu, S., Suh, M. C., and Were, B. A. I., 2009. Sesame. Compendium of Transgenic Crop Plants: 227-246.

El Naim, A. M., and Ahmed, M. F. 2010. Effect of irrigation on vegetative growth, oil yield and protein content of two sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 6 (5): 630-636.

FAO, 2018. http://www.fao.org/faostat/en/#data

FAO and WHO. 2001. Codex Alimentarius: General requirements (food hygiene) (Vol. 1). Food & Agriculture Org.

Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. pp. 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water stress.

Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Crop and Pasture Science 29 (5): 897-912.

Hamrouni, I., Salah, H. B., and Marzouk, B. 2001. Effects of water-deficit on lipids of safflower aerial parts. Phytochemistry 58 (2): 277-280.

Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, M., Jamaati-e-Somarin, S., Saeidi, M., and Gholipouri, A. 2009. Investigation of water stress on yield and yield components of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan region. Research Journal of Environmental Sciences 3 (2): 239-244.

Hassanzadeh, N., Kazemi Tabar, S. K., Asouri, M., Hashemlou, F., and Ahmadi, A. A. 2014. The evaluation of antioxidant properties of native sesame varieties of Iran. Official Journal of Iranian Association of Clinical Laboratory Doctors. Laboratory & Diagnosis Vol. 5, No 22.

Hussein, Y., Amin, G., Azab, A., and Gahin, H. 2015. Induction of drought stress resistance in sesame (*Sesamum indicum* L.) plant by salicylic acid and kinetin. Journal of Plant Sciences 10 (4): 128.

Hwang, L. S. 2005. Sesame oil. Bailey's Industrial Oil and Fat Products 2: 547-552.

ISO 12966-2, 2011. Animal and vegetable fats and oils-gas chromatography of fatty acid methyl esters- Part 2: Preparation of fatty acid methyl esters. International Organization for Standardization.

ISO 5511, 1992. Oilseeds- determination of oil content- method using continuous-wave low- resolution nuclear magnetic resonance spectrometry (rapid method). International Organization for Standardization.

Kassab, O. M., Mehanna, H. M., and Aboelill, A. 2012. Drought impact on growth and yield of some sesame varieties. Journal of Applied Sciences Research 8 (8): 4544-4551.

Khammari, M., Ghanbari, A., and Rostami, H. 2013. Evaluation indicator of drought stress in different cultivars of sesame. International Journal of Management Sciences

and Business Research 2 (9): 28.

Kim, K. S., Ryu, S. N., and Chung, H. G. 2006. Influence of drought stress on chemical compositon of sesame seed. Korean Journal crop Science 51 (1): 73-80.

Kurt, C. 2018. Variation in oil content and fatty acid composition of sesame accessions from different origins. Grasas y Aceites 69 (1): 241.

Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products 30 (3): 372-379.

Molaie, P., Ebadi, A., Namvar, A., and Bejandi, T. K. 2012. Water relation, solute accumulation and cell membrane injury in sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars subjected to water stress. Annals of Biological Research 3 (4): 1833-1838.

Moradi, P., Mahdavi, A., Khoshkam, M., and Iriti, M., 2017. Lipidomics unravels the role of leaf lipids in thyme plant response to drought stress. International Journal of Molecular Sciences 18 (10): 2067.

Nagendra Prasad, M. N., Sanjay, K. R., Prasad, D. S., Vijay, N., Kothari, R., and Nanjunda Swamy, S. 2012. A review on nutritional and nutraceutical properties of sesame. Journal of Nutrition and Food Sciences 2 (127): 2.

Nath, R., Chakraborty, P. K., Bandopadhyay, P., Kundu, C. K., and Chakraborty, A. 2003. Analysis of relationship between crop growth parameters, yield and physical environment within the crop canopy of sesame (*Sesamum indicum*) at different sowing dates. Archives of Agronomy and Soil Science 49 (6): 677-682.

Ozkan, A., and Kulak, M. 2013. Effects of water stress on growth, oil yield, fatty acid composition and mineral content of *Sesamum indicum*. Journal of Animal and Plant Sciences 23 (6): 1686-90.

Poor-Esmaeil, H. A., Fanaei, H. R., and Saberi, M. H. 2014. Evaluation of drought tolerant cultivars and lines of sesame using stress tolerance indices. Scientific Journal of Crop Science 3 (6): 66-70.

Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop science 21 (6): 943-946.

Sanchez, J., Canales Castilla, F. J., Tweed, J. K., Lee, M. R. F., Rubiales, D., Gómez-Cadenas, A., Arbona, V., Mur, L. A., and Prats, E. 2018. Fatty acid profile changes during gradual soil water depletion in oats suggests a role for

jasmonates in coping with drought. Frontiers in Plant Science 1077.

Sadeghi, N., Oveisi, M.R., Hajimahmoodi, M., Jannat, B., Mazaheri, M., and Mansouri, S. 2010. The contents of sesamol in Iranian sesame seeds. Iranian Journal of Pharmaceutical Research: 101-105.

Schneider, K. A., Rosales-Serna, R., Ibarra-Perez, F., Cazares-Enriquez, B., Acosta-Gallegos, J. A., Ramirez-Vallejo, P., and Kelly, J. D. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science 37 (1): 43-50.

Suja, K. P., Jayalekshmy, A., and Arumughan, C. 2004. Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*Sesamum indicum* L.) in DPPH$^{\bullet}$ system. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52 (4): 912-915.